

討 議

土木學會誌 第十七卷第六號 昭和六年六月

軌條波狀磨耗の状況及び其の原因

(第十六卷第十二號所載)

會 員 工 學 士 堀 越 一 三

軌條波狀磨耗の原因に就ては多くの説が提供されたが尙々解決されない點が多い、著者は長年に亘つて東京市營電車軌道に就て軌條波狀磨耗の現象を観察研究せられ貴重なる資料を提供された。特に電車振動調査をも施行せられ左右振動に基く軌條波狀磨耗の理論を導かれ軌條波狀磨耗の諸現象を包容説明し盡せるものとせられたのである。此の理論に關し次の諸點に就て更に御教示を乞はんとするのである。

1. 軌條上の車輪滑動に就て

第二編第四章に於て著者は電車ボギー中心上の床上の振幅 2λ を計算し車輪は軌條上を 2λ だけ左右に滑動するものと断定し之れを根據として各章の計算を行つて居る。然し此の断定は今迄の車輛動搖理論及び實驗上信ぜられて居る所と餘りに懸け離れて居る。車輪が軌條に對し相對的に左右に動く時には全部が滑動によるものではなく寧ろ蛇行運動に伴ふ車輪轉動によるものが多い。ボギー中心はスイングボルスター、ボルスターばね及びボルスター・ハンガーのために車輪の左右動より更に大なる振幅の左右動をする。輪軸勾配なき車輪をつける場合には車輪は軌條に沿ふて轉動し蛇行しない。然し左右軌條の不齊のために左右動はやはり生ずるが輪軸勾配ある車輪の場合蛇行を伴ふ左右動の様に大きくはない。特に曲線軌道の場合には前輪は外側軌條に導かれるのが普通であり後輪も直線軌道に於ける様に自由でないから軌條と車輪間の左右相對移動は直線軌道より多いとは云へない。省線では曲線が餘り短くなければ寧ろ直線に於けるより左右動の小なる場合が多い。結局個々の車輪が蛇行運動に伴つて滑動することを考へれば相當複雑になるが總體的に考へれば軌條と車輪間の滑動はボギー中心上の床上の左右動振幅より遙かに小であると云はなければならぬ。

2. $\text{tg } \theta = l/v_0$ の意義に就て

軌條上の車輪滑動の量はボギー中心上の左右動より小なること上述の通りである。然らば左右車輪の行程を示す

$$\frac{2\pi}{n} \left(r - \frac{v_0}{H} \right) \text{ 及び } \frac{2\pi}{n} \left(r + \frac{v_0}{H} \right)$$

に於ける v_0 と滑動方向を示す $\tan\theta = l/v_0$ に於ける v_0 とは異なるべきである。

假りに l 及び v_0 が決定されたとしても l/v_0 は波状磨耗の谷及び峯が軌道中心線への垂線となす角度とはならない。軌條と車輪とは一點で接觸せず或面積で接觸することは Fremont 又は Johnson の實驗乃至は Boedecker 等の計算を俟たずして明である。然る時一定なる輪轍勾配 $1/H$ を有する車輪が軌條上を滑動する時軌條が直立し車軸が軌條に對し直角の方向をとる限りは滑動の方向には何等の關係もなく磨耗痕は軌條に直角に起る。

著者は實際測定される傾斜角 θ は指示されて居ないが車輪々縁と軌條頭の間にある遊間を 2 纏、軌距を 127 纏とすれば此のために車軸が軌條に對し傾斜し得る角は最大

$$\frac{2}{127} = 0^\circ 54'$$

である。實際には斯様な大なる傾斜をなす場合は起らないがとにかく此の方法で求められる傾斜角と著者が第二編第十章 5. で述べて居る様な輪轍磨耗状態（所謂磨耗輪縁等）及び横推力による軌條傾斜を考へてのみ波状磨耗の谷及び峯が軌道中心線に對して直角でないことの説明をなすことができると考へられる。

3. 波状磨耗と軌條上車輪の滑動の大きさに就て

車輛が左右に動揺する時片側半分宛波状磨耗を起すが如何なる側に起り、又齒輪噛み合ひの衝動は如何に作用し、電車の進行方向の異なる際モーターの車軸齒輪に對する作用は反對になるが之れが如何なる影響を及ぼすか及び兩側車輪の行程の差は之れ程迄嚴格に滑動を起して補整されねばならぬか明確に説明されてない。

著者の計算によれば東京市の電車では

$$\frac{l}{v_0} = \frac{2\pi}{5n} = 0.0188 \sim 0.0152$$

即ち

$$l = \frac{v_0}{53.2} \sim \frac{v_0}{65.8}$$

合成滑動量は約

$$\sqrt{l^2 + v_0^2} = 1.00015 v_0$$

となる。

$$\frac{l}{v_0} = \frac{\pi}{5n}$$

とすれば

$$l = \frac{v_0}{106.4} \sim \frac{v_0}{131.6}$$

$$\sqrt{l^2 + v_0^2} = 1.00003v_0$$

である。

波状磨耗の谷に相當する部分の著しい磨耗は滑動 $\sqrt{l^2 + v_0^2}$ によつて生じ他の部分の磨耗は一様に滑動 v_0 によつて生ずる。計算結果から分る様に $\sqrt{l^2 + v_0^2}$ は確かに v_0 より大きい。軌條波状磨耗は軌條走行面に僅かの凹凸ができて其れを元として磨耗が進行し波状が益々著しくなることは考へ得るが上に計算した $\sqrt{l^2 + v_0^2}$ は v_0 に餘りに接近して居る。之れのみを波状磨耗の起因とするのは少し物足りない様な感がある。況んや實際は左右車輪行程の差 l が全部滑動となることはなく又輪轍勾配も磨耗して $1/20$ より小であるから $\sqrt{l^2 + v_0^2}$ と v_0 の差は益々小となる。

4. 齒輪の齒の噛み合ひの影響に就て

著者は波状磨耗は齒輪の齒の噛み合ひの際の衝動によるとなし此の衝動が微小なれば波状磨耗は現れ難いとした(第二編第十章 1.)。電車では現在噛み合ひ數 (meshing ratio) は 2~2.5 に達するものが多い様である。この様なものには餘程悪い條件を考へなければ衝動は起らない。又噛み合ひに僅小の衝動があつたとしても之れが如何程迄輪轍に達し得るか頗る疑問である。

次に衝動があつて而も之れが波状磨耗の原因になると假定した時に波状磨耗が如何様になるかを考へて見る。齒輪では特別の齒にのみ特別の磨耗が生ずる様な場合を豫想する必要はないから各齒が皆同程度の作用をなすとしてよい。然らば噛み合ひの衝動も齒輪一回轉中には齒の數だけ生ずると考へるのが最も妥當である。然る時は第二編第八章で

$$l = \frac{2\pi}{n} \left(r + \frac{v_0}{H} \right) - \frac{2\pi}{n} \left(r - \frac{v_0}{H} \right) = \frac{4\pi v_0}{nH}, \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{\pi}{5n} = 0^\circ 33' \sim 0^\circ 26'$$

となる。

又波状磨耗の波長は明に

$$P = \frac{\pi d}{n}$$

となり東京市街軌道電車では P は次の様になる。(長さの單位は寸)

$n \backslash d$	67	83
66	3.89	2.50
79	3.70	2.99

實測報告された波長は

$$0.15 \sim 0.25 \text{ 呎} = 4.57 \sim 7.62 \text{ 糎}$$

であるから波状磨耗が齒輪の噛み合ひの衝動によつて計算した波長 P と完全に喰ひ違つてくる。 n の代りに $n/2, n/3 \dots$ 等を用ひんとすれば夫れ相當の根據がなければならぬが此の論據を的確に求めることは困難である。

省線電車で生ずる波状磨耗を見ると發生する場合は僅かであるが走行速度 47~50 軒/時に對して波長は 10~15 糎のもの及び 50~70 糎のものがある。然るに

$$d = 91 \text{ 糎}$$

$$n = 63 \text{ 及び } 64$$

であるから $P = \frac{\pi d}{n}$ は (單位糎)

n	63	64
P	4.54	4.47

である。

5. 軌條波状磨耗の理論の要件に就て

軌條波状磨耗は軌道構造の弱かつた時代には餘り見られなかつたが軌道構造が強剛となるに従つて次第に發生する様になつた。特に電動車を多數運轉する區間に著しい。コンクリート道床の如き場合には蒸氣列車運轉の場合でも輕微の波状磨耗は生じないこともない。特に制動運轉をする區間では普通の砂利道床の場合でもよく生ずる。著者は軌道の剛性の變化を單に車輛の左右動振幅の大小によつて代表させ東京市の剛性大なる軌道上では車輛の左右動揺の振幅が大であるため之れに齒輪の齒の噛み合ひの際の衝動が伴ひ波状磨耗は生ずるものと結論した。然し附表第五に示された様に強剛なる改良鋪裝の區間でも 2λ の 0.036, 0.022, 0.017 等の突飛に大なる値を除けば大多數の場合の平均値 2λ は板石鋪裝の場合より寧ろ小さく附表第六の専用軌道の場合にも餘程接近してくる。省線電車の場合であつてもコンクリート道床又は之れに近き構造の軌道では左右動揺は普通砂利道床の幾分振動大なる軌道より遙かに小であるが波状磨耗を發生し得る。かゝる剛性大なる軌道上の車輛振動の特質は制動作用の際に感ずる様な微振動を多く伴ふことである。結局譬へば制動作用の如く車輛自身にある原因と共に軌道の剛性或は重量の大なることが如何なる經路を経て軌條或は車輪に如何に影響して波状磨耗を生ずるものであるかを一層具體化したるものが波状磨耗の完結した理

論となるのではあるまいか。

〔波狀磨耗に關して Busse の云つた様に軌條壓延の最初の行程に於て壓延機の壓延面に作られた凹凸によつて波狀磨耗の様な等間隔の凹凸が與へられ此の影響が後まで残れば之れが波狀磨耗の一原因と考へられないこともないが仕上げ軌條に此の影響が残るとは冶金技術者は勿論一般に肯定されない。Meyer の軌條振動論 Sieber 或は Résal の夫々の車輪振動論等波狀磨耗の原因に就て考察すべき相當の資料を與へた。特に Wichert の Reibschwingungen の理論の加きは比較的進歩せるものであると考へられて居る。將來も尙此の方面に軌條波狀磨耗の理論は發展するものであると思ふ。